

ЗАКОНОМІРНОСТІ РУЙНУВАННЯ СТАЛІ ТРИВАЛО ЕКСПЛУАТОВАНОГО МАГІСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДУ З УРАХУВАННЯМ НАВОДНЮВАННЯ ТА ПОПРЕДНЬОГО ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ

**П.О. Марущак¹, О.Т. Цирульник², У.В. Поливана¹,
Р.Т. Біщак³, І.Б. Окіпний¹**

¹ Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,
Україна

² Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, Україна

³ Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна

Відомо, що тривала експлуатація спричиняє накопичення розпорошеної пошкодженості у матеріалі, структурну деградацію та виникненню мікрodefektів [1]. Ці негативні явища особливо небезпечні для магістральних нафто- та газопроводів, оскільки знижують їх експлуатаційну надійність [2].

Для магістральних газопроводів розпорошену пошкодженість можна розглядати як один із деградаційних проявів, зумовлених тривалим сумісним впливом напружень, корозійних процесів та наводнювання [3]. Небезпека розпорошеного пошкодження у тому, що накопичені у металі структурно-механічні дефекти локалізують деформаційні процеси, що може спричинити руйнування об'єкту за напружень нижчих за допустимі [4].

Протягом тривалої експлуатації, за умови контакту стінки газопроводу із корозійними середовищами може відбуватись її електролітичне наводнювання, спричиняючи зменшення пластичності та зниження тріщиностійкості металу. Розпорошені дефекти є основний наслідком деградації тривало експлуатованих труб, що підтверджено результатами досліджень поведінки водню у металі, одержаними за методом оцінювання водневої проникності та температурними залежностями екстракції водню з трубних сталей.

На даний час триває пошук параметрів оцінювання деградації сталей із наявною розпорошеною пошкодженістю. Зокрема, відомі праці А.О. Лебедева та М.Г. Чаусова у яких обґрунтовано використання деформації розпушування, що дозволяє урахувати кінетику пороутворення та злиття мікропор на наявних у матеріалі структурно-механічних дефектах [5].

Проте, на нашу думку оцінювання залишкової міцності сталей тривало експлуатованих магістральних газопроводів та комплексне вивчення деградаційних процесів залишається актуальним.

У даній роботі буде досліджено вплив деформування та наводнювання на міцність, пластичність та мікромеханізми руйнування сталі 17Г1С тривало експлуатованого магістрального газопроводу.

Для визначення механічних властивостей сталі 17Г1С магістрального газопроводу «Київ-Захід 1», після 40 років напрацювання використовували зразки діаметром 5 мм з робочою ділянкою 25 мм, які вирізали з труби у поздовжньому на поперечному напрямках, рис 1а. Окрихчувальні чинники, зокрема наводнювання металу, підсилюють чутливість механічних властивостей експлуатованих трубних сталей до розпорошених пошкоджень, тому саме за таких умов проводили їх дослідження.

Використано наступні схеми досліджень зразків тривало експлуатованого газопроводу, рис. 1б:

I) статичний розтяг;

II) Попереднє наводнення зразків та випробування за статичного розтягу на повітрі
Така схема дозволяла визначати вплив внутрішнього (абсорбованого металом) водню на механічну поведінку сталі;

III) Попереднє деформування до $\epsilon_{pr} = 6\%$, наводнення зразків та випробування за статичного розтягу на повітрі. Така схема дозволяла визначати комплексний вплив деформаційного зміцнення та наводнювання на механічну поведінку сталі;

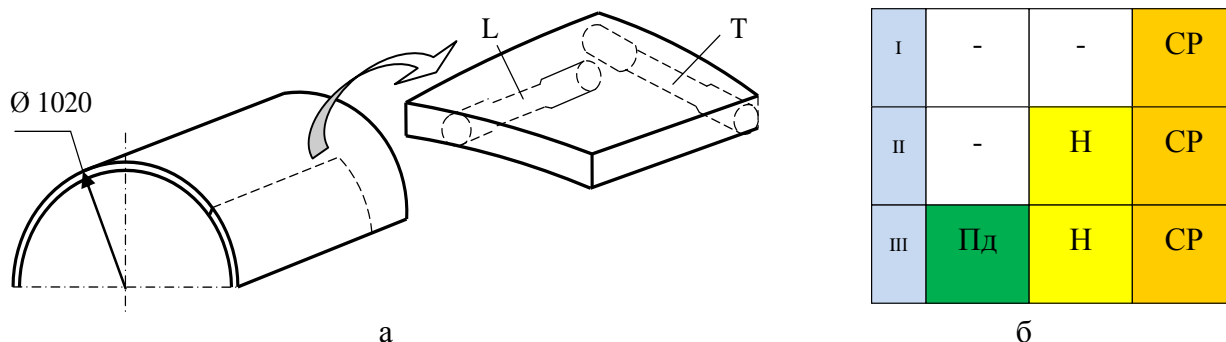


Рис. 1. Схема вирізання зразків – а та випробувань зразків: Пд – пластичне деформування ($\epsilon_{pr} = 6\%$); Н – наводнювання; CP – статичний розтяг

Перед наводнюванням зразки підлягали хімічному знежирюванню в водному розчині, склад якого приведений в табл. 1. Його проводили за температури $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ впродовж 30 хв. Після цього, зразки промивали спочатку в гарячій воді ($\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$), а потім в холодній ($\sim 13\text{ }^{\circ}\text{C}$) воді.

Таблиця 1. Склад розчину для знежирювання поверхні досліджених зразків тривало експлуатованої сталі 17Г1С

NaOH, г/л	Na ₂ CO ₃ , г/л	Na ₃ PO ₄ , г/л	Na ₂ SiO ₃ г/л
30	30	40	2

Електролітичне наводнювання проводили в розчині H_2SO_4 (pH4) з добавкою 2 г/л стимулятора – тіомочевини за густини струму 5 mA/cm^2 при температурі $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ впродовж 25 год. Така кислотність розчину дозволила усунути проблему корозійного ураження поверхні зразка. Відновлення характеристик пластичності сталі після десорбції водню із зразка за його витримки при $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ впродовж доби вказує на те, що у металі за такого рівня струму у процесі ПЕН не розвивається воднем викликана незворотна пошкодженість.

Під час випробувань записували зусилля навантажування, фіксували поздовжнє звуження зразка за допомогою тензодавачів. Поверхню зламу зразків досліджували за допомогою скануючого мікроскопа РЕМ 106 И.

Тривала експлуатація на стадії розвитку розпорошеної пошкодженості зумовлює деформаційне старіння трубної сталі, тому спостерігали зростання міцності сталі 17Г1С яке супроводжується зниженням відносного звуження зразків.

Виявлено відмінності характеристик пластичності експлуатованих сталей у поздовжньому та поперечному напрямках, спільним для яких є значне зниження значень ψ та δ .

З приведенного комплексу експериментальних результатів можна зробити висновок про важливу роль водню у деградації властивостей газопровідних сталей у процесі їх тривалої експлуатації. Зокрема для пластично деформованих сталей, після наводнювання відносне звуження знижується у 2,5...3 рази, залежно від напрямку вирізання. Це свідчить про синергетичний ефект, накладання та підсилення процесів вичерпування пластичності (деформаційного зміцнення) та наводнення сталі 17Г1С.

Встановлено вплив абсорбованого металом водню на мікромеханізми руйнування, зокрема зростання частки крихкого руйнування і утворенні на поверхні локальних ділянок мікросколювання (для зразків поздовжнього напрямку вирізання), розшарувань зниженні

опору крихкому руйнуванню, що проявляється у згладженості поверхні руйнування (для зразків поперечного напрямку вирізання).

1. C.I. Ossai, B. Boswell, I. J. Davies Pipeline failures in corrosive environments – A conceptual analysis of trends and effects // Engineering Failure Analysis. – 2015. - Vol., 53, P. 36-58.
2. H. Nykyforchyn, E. Lunarska, O. Tsyruľnyk, et al. Environmentally assisted “in-bulk” steel degradation of long term service gas trunkline // Eng. Fail. Anal. – 2010. – Vol. 17. – P. 624–632 (2010).
3. H. M. Nykyforchyn, E. Lunarska, P. Zonta Degradation of Properties of Long Term Exploited Main Oil and Gas Pipelines Steels and Role of Environment in This Process // Integrity of Pipelines Transporting Hydrocarbons, NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security Volume 1, 2011, P. 59-74.
4. I.M. Dmytrakh, R.L. Leshchak, A.M. Syrotyuk Effect of hydrogen concentration on strain behaviour of pipeline steel // International Journal of Hydrogen Energy. – 2015. – Vol. – 40. - P. 4011-4018.
5. Новые методы оценки деградации механических свойств металла конструкций в процессе наработки: Моногр. / А.А. Лебедев, Н.Г. Чаусов; НАН Украины. Ин-т пробл. прочности им. Г.С.Писаренко. — К., 2004. — 133 с.

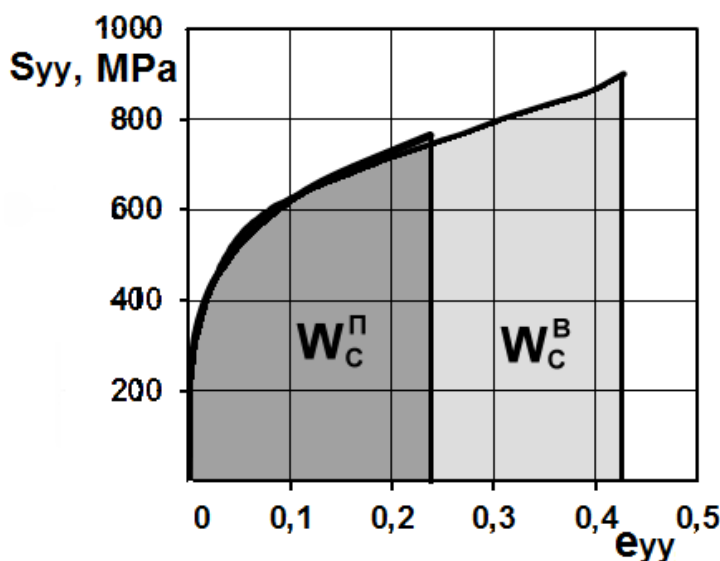
ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО СТАНУ МАТЕРІАЛУ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ В ПРОЦЕСІ НАВАНТАЖЕННЯ

Я. Л. Іваницький, Ю. В. Мольков, П. С. Кунь

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України

Енергетичні запаси матеріалу визначають цілісність та надійність конструкційних елементів за експлуатаційних умов. Повний енергетичний запас одиниці об’єму вихідного матеріалу рівний критичному значенню енергії деформування – енергії руйнування, що встановлюється експериментально. Однак навіть незначний акт навантаження (статичного, циклічного, динамічного і т.п.) призводить до певного енергетичного послаблення матеріалу, особливо в об’ємах найбільшої концентрації напружень. Тобто будь-яка історія навантаження зменшує енергетичні запаси матеріалу. Тому дуже важливо вміти на практиці контролювати ці зміни для подальшого визначення технічного стану та експлуатаційних кондицій елементів конструкцій.

Значна частина конструкцій у промисловості працює за циклічних навантажень, внаслідок чого біля конструктивних концентраторів напружень зароджуються і поширюються втомні тріщини. У багатьох випадках допускається експлуатація конструкції з тріщинами, якщо їх розміри не перевищують допустимих величин. Однак важливо встановити наскільки наявність втомних тріщин у матеріалі зменшує загальну несучу здатність конструкції.



На відміну від конструктивних концентраторів напружень перед вершиною втомної тріщини завжди існує певний об’єм матеріалу, послабленого внаслідок циклічного навантаження (циклічна пластична зона).

Рис. 1. Діаграми локального деформування сталі 65Г перед вершиною надрізу та втомної тріщини.

Оцінювати енергетичні втрати матеріалу у цій зоні пропонується за значенням питомої енергії